

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAÎTÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
15 janvier 2004 (15.01.2004)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2004/005853 A1**

(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> :  
**G01C 23/00, G05D 1/02**

31-33, avenue Aristide Briand, F-94117 Arcueil cedex (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :  
**PCT/FR2003/002001**

(74) Mandataires : GUERIN, Michel etc.; Thales Intellectual Property, 31-33, avenue Aristide Briand, F-94117 Arcueil Cedex (FR).

(22) Date de dépôt international : 27 juin 2003 (27.06.2003)

(81) État désigné (*national*) : US.

(25) Langue de dépôt : français

(84) États désignés (*regional*) : brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

(30) Données relatives à la priorité :  
02/08470 5 juillet 2002 (05.07.2002) FR

Publiée :

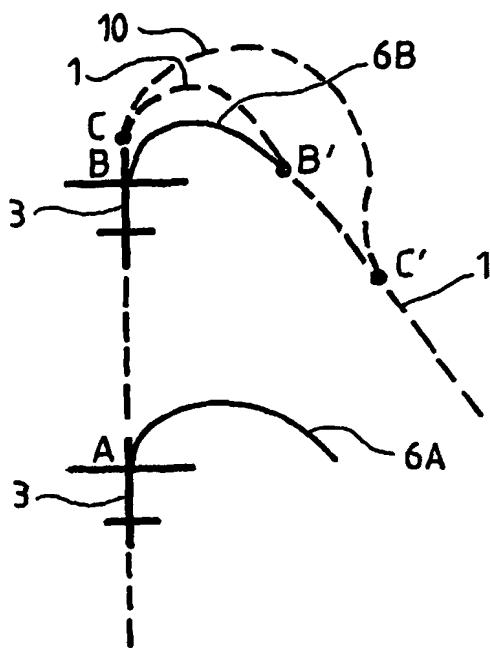
- avec rapport de recherche internationale
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont requises

(71) Déposant (*pour tous les États désignés sauf US*) : THALES [FR/FR]; Thales Intellectual Property, 31-33 avenue Aristide Briand, 94117 Arcueil cedex (FR).

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

(54) Title: METHOD FOR AN AIRCRAFT NAVIGATIONAL AID AND CORRESPONDING DEVICE

(54) Titre : PROCEDE D'AIDE A LA NAVIGATION D'UN AERONEF ET DISPOSITIF CORRESPONDANT



(57) Abstract: The invention concerns a method for an aircraft navigational aid, comprising the following steps which consist in: a) calculating on the basis of wind a pick-off, that is a ground track which the aircraft would follow if it were instantly going into a turn at maximum rate applicable to the stage of flight in which the aircraft is, b) displaying on a navigation display the pick-off and the ground track to be captured, so as to determine a roll-in of the aircraft for the best possible sensing of the trajectory to be captured.

(57) Abrégé : L'invention concerne un procédé d'aide à la navigation d'un aéronef. Il comprend les étapes suivantes consistant à : a) calculer en fonction du vent un palpeur, c'est-à-dire la trajectoire sol que suivrait l'aéronef s'il débutait à l'instant un virage au taux maximal applicable à la phase de vol dans laquelle l'aéronef se situe, b) afficher sur un écran de navigation le palpeur et une trajectoire sol à capturer, en vue de déterminer une mise en virage de l'aéronef permettant de capturer au mieux la trajectoire à capturer.

## PROCEDE D'AIDE A LA NAVIGATION D'UN AERONEF ET DISPOSITIF CORRESPONDANT

L'invention concerne un procédé et un dispositif embarqué d'aide à la navigation d'un aéronef.

Le domaine de l'invention est celui de l'aide à la navigation et à la sécurité aériennes et concerne plus particulièrement l'aide à l'alignement 5 d'un aéronef sur une trajectoire prédéterminée comme par exemple une trajectoire d'approche.

On désigne aussi par trajectoire à capturer, la trajectoire sur laquelle l'aéronef doit s'aligner ; il s'agit a priori d'une trajectoire qui n'évolue pas ou peu pendant la capture.

10 Par la suite on considère plus particulièrement des trajectoires sol c'est-à-dire les projections au sol des trajectoires des aéronefs.

Comme illustré figure 1, lorsqu'un avion par exemple s'apprête à atterrir, la trajectoire 1 à capturer pour atterrir sur une piste 5, s'affiche sur l'écran de navigation 4 de l'avion qui est lui-même schématiquement 15 représenté sur l'écran sous la référence 3. Il s'agit d'une trajectoire 1 sol comportant des repères 2 d'altitude ou de points de contrôle, envoyée par un contrôleur aérien de l'aéroport. Au fur et à mesure de la progression de l'avion 3, cette trajectoire 1 sol défile sous l'avion situé au centre de l'écran de navigation 4 et dont le cap est repéré en degrés (275° dans le cas de la 20 figure). Pour ne pas surcharger la figure, les mesures fournies par les capteurs de l'avion et qui sont affichées sur cet écran de navigation ne sont pas représentées.

Dans certains cas, cette trajectoire ne défile pas exactement sous l'avion, notamment lorsque la position même de l'avion n'est pas affichée sur 25 l'écran de navigation avec suffisamment de précision. Ce peut être le cas lorsque les moyens de calcul et/ou d'affichage de la trajectoire de l'avion qui sont embarqués à bord de l'aéronef, sont insuffisamment précis.

Dans d'autres cas, cette trajectoire ne défile pas sous l'avion car l'avion n'est pas aligné dessus en particulier en raison du vent qui déporte 30 l'avion et l'empêche par exemple de respecter le virage prévu.

Plusieurs possibilités s'offrent alors au pilote, que le pilotage soit en mode manuel ou en mode « sélection » dans lequel le pilote automatique

reçoit des ordres du pilote au lieu de les recevoir du système de gestion de vol.

L'avion 3 commandé par le pilote, peut alors capturer cette trajectoire 1 plus loin au terme d'une trajectoire 10 comme illustré figure 2a) ; 5 dans ce cas, il reste moins de temps au pilote pour mettre en œuvre les différentes procédures d'atterrissement qui de ce fait deviennent plus risquées.

Pour ne pas se retrouver dans cette situation, le pilote peut décider de décrire une boucle 11 comme illustré figure 2b) ; cela lui permet de capturer la trajectoire 1 en un point qui ne le pénalisera pas pour mettre 10 en œuvre les différentes procédures d'atterrissement. Mais cette solution retarde alors l'atterrissement de l'avion ce qui présente des risques pour l'avion suivant lorsque les fenêtres d'atterrissement entre deux avions sont rapprochées.

Une autre solution consiste à ce que le pilote lui-même anticipe la 15 mise en virage ; mais il est difficile pour le pilote de prendre en compte précisément l'effet du vent qui sera subi pendant le virage de capture.

Un arc de cercle prédisant la tendance de la trajectoire air de l'avion dès que celui-ci est en virage, peut aussi être calculé par les moyens de calcul embarqués et s'afficher sur l'écran de navigation. Une trajectoire air 20 est une trajectoire idéale qui ne prend pas en compte l'effet du vent. Mais il ne s'agit que d'une tendance et un tel arc de cercle ne prédit pas avant le virage la future trajectoire air ni la future trajectoire sol de l'avion notamment en cas de vent.

Un autre inconvénient commun à ces solutions est de ne pouvoir 25 déterminer avec précision ni la position ni l'instant de la capture.

Un but important de l'invention est donc de permettre de capturer au mieux une trajectoire pré-déterminée, en prenant en compte l'effet du vent sur la trajectoire de l'aéronef.

Dans la suite on désigne par palpeur la trajectoire sol que suivrait 30 l'aéronef s'il débutait à l'instant un virage au taux maximal applicable à la phase de vol dans laquelle l'aéronef se situe.

Pour atteindre ces buts, l'invention propose un procédé d'aide à la navigation d'un aéronef, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes consistant à :

35 a) calculer en fonction du vent un palpeur,

b) afficher sur un écran de navigation le palpeur et une trajectoire sol à capturer, en vue de déterminer une mise en virage de l'aéronef permettant de capturer au mieux la trajectoire à capturer.

Selon une caractéristique de l'invention, il comporte en outre une 5 étape consistant à donner l'ordre de la mise en virage lorsque le palpeur tangente la trajectoire sol à capturer.

Le procédé selon l'invention est basé sur l'affichage simultané (étape b) d'une trajectoire à capturer qui a priori n'évolue pas ou peu pendant la capture et d'un palpeur calculé (étape a) en fonction du vent à des 10 instants successifs : dès qu'il apparaît que le palpeur tangente la trajectoire à capturer, un ordre de mise en virage de l'aéronef est donné (étape c), ce virage permettant compte tenu du vent de capturer au mieux la trajectoire, sinon les étapes a), b) et c) sont réitérées.

La mise en virage est déterminée pour permettre de mieux 15 capturer la trajectoire que si l'aéronef avait été mis en virage en respectant fidèlement la trajectoire à capturer ; déporté par le vent, l'avion aurait alors capturé la trajectoire plus loin (ou éventuellement plus près). Cette mise en virage anticipée (voire retardée) permet en outre de prédire précisément le point de capture, c'est-à-dire la position par rapport au sol du point de 20 capture et éventuellement l'instant de capture et ceci quelles que soient la position et l'orientation initiales de l'avion et quel que soit le mode de pilotage.

L'invention a aussi pour objet un équipement embarqué d'aide à la 25 navigation d'un aéronef comportant au moins une mémoire de programme et une interface utilisateur, caractérisé en ce que la mémoire de programme comporte un programme de calcul d'un palpeur, et un programme d'affichage sur l'interface utilisateur d'une trajectoire à capturer et du palpeur.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront 30 à la lecture de la description détaillée qui suit, faite à titre d'exemple non limitatif et en référence aux dessins annexés dans lesquels :

la figure 1 déjà décrite représente schématiquement un écran de navigation sur lequel est affichée une trajectoire à capturer,

les figures 2a) et 2b) déjà décrites représentent schématiquement 35 des exemples de trajectoire de l'avion lorsque celui-ci ne peut respecter la trajectoire à capturer en raison de l'effet du vent,

la figure 3 est un organigramme représentant les principales étapes du procédé selon l'invention,

la figure 4 illustre schématiquement la comparaison d'un palpeur et d'une trajectoire à capturer pour deux positions A ou B de l'avion,

5 la figure 5 représente schématiquement des exemples de formes de palpeur dans le cas d'une mise en virage instantanée et sans dérive de l'avion, selon que le vent est un vent arrière (a), un vent SE-NO (b) ou un vent de travers (c),

10 la figure 6 représente schématiquement un exemple de forme de palpeur droit (D) et gauche (G) incluant la distance de mise en virage et la dérive de l'avion pour un vent SO-NE,

la figure 7 représente schématiquement un dispositif embarqué d'aide à la navigation selon l'invention.

15 Dans la suite on prendra comme exemple d'aéronef un avion.

Comme illustré sur l'organigramme de la figure 3, le procédé selon l'invention est basé sur l'affichage simultané (étape b) d'une trajectoire à capturer qui a priori n'évolue pas ou peu pendant la capture et d'un palpeur calculé (étape a) en fonction du vent à des instants successifs : dès 20 qu'il apparaît que le palpeur tangente la trajectoire à capturer, un ordre de mise en virage de l'avion (étape c) est donné, ce virage permettant compte tenu du vent de capturer au mieux la trajectoire. Sinon, les étapes a), b) et c) sont réitérées.

La comparaison entre le palpeur et la trajectoire à capturer est 25 illustrée figure 4 sur laquelle l'avion 3 est représenté à deux endroits A et B de sa trajectoire. Le palpeur 6A correspondant à la position A de l'avion 3, ne tangente pas encore la trajectoire 1 à capturer et les étapes a), b) et c) sont réitérées à l'instant suivant. Le palpeur 6B correspondant à la position B de l'avion 3 tangente la trajectoire 1 à capturer ; dans ce cas l'avion 3 est mis en 30 virage au point B pour un virage au taux maximal, c'est-à-dire au taux correspondant à celui du palpeur.

Ce taux de virage est typiquement celui qui correspond à une inclinaison en roulis de 25° ; il diminue à haute altitude.

Cette anticipation en B de la mise en virage permet de capturer la 35 trajectoire 1 au point B' et donc plus tôt que si l'avion avait été mis en virage

au point C en respectant fidèlement la trajectoire 1 ; déporté par le vent, l'avion 3 n'aurait alors capturé la trajectoire 1 qu'au point C' après avoir suivi la trajectoire 10. Cette anticipation permet en outre de prédire précisément le point B' de capture, c'est-à-dire la position par rapport au sol du point de capture et l'instant de capture et ceci quel que soit l'angle d'interception c'est-à-dire quelles que soient la position et l'orientation initiales de l'avion et quel que soit le mode de pilotage (avec ou sans guidage radar, ...).

Les étapes a), b) et c) de calcul, d'affichage et de mise en virage conditionnelle peuvent être réalisées automatiquement c'est-à-dire par les 10 moyens de calcul embarqués à bord de l'avion.

Selon un mode de réalisation particulier, le pilote compare visuellement au moyen de l'écran de navigation, la trajectoire à capturer et le palpeur. Dès qu'il apparaît que le palpeur tangente la trajectoire à capturer, le pilote donne l'ordre de mise en virage de l'avion.

15 Les étapes a), b) et c) peuvent être réalisées pendant tout le vol. Elles sont de préférence réalisées sur commande du système de gestion de vol (« FMS », acronyme anglo-saxon de « Flight Management System »), ou sur commande du pilote, des deux côtés de l'avion et l'on obtient un palpeur droit et un palpeur gauche ou du côté du virage souhaité et l'on obtient un 20 palpeur droit ou gauche.

Plus généralement, chaque étape de calcul, et/ou d'affichage et/ou de mise en virage conditionnelle peut être commandée par le pilote ou automatiquement par le système de gestion de vol.

La commande de l'étape a) et éventuellement des étapes b) et c) 25 peut être sélectionnée par le pilote au moyen par exemple d'un menu présenté via une interface utilisateur telle que l'interface « MCDU », acronyme anglo-saxon de « Multi Control Display Unit », cette interface étant reliée au système de gestion de vol et aux récepteurs de navigation. Ce menu peut permettre au pilote de sélectionner pour le palpeur le côté du virage souhaité, le palpeur ne s'affichant alors que de ce côté. 30

Les étapes a), b) et éventuellement l'étape c) peuvent aussi être commandées par le pilote ou automatiquement à l'occasion d'un changement de mode de vol lors par exemple du passage du mode « HSV », acronyme anglo-saxon de « Heading Vertical Speed » dans lequel on subit le

vent, en mode FPA acronyme anglo-saxon de « Flight Path Angle » dans lequel on s'affranchit du vent.

Les étapes a), b) et éventuellement l'étape c) peuvent aussi être commandées par le pilote par d'autres moyens tels que la rotation par exemple d'un degré par le pilote d'un bouton de sélection, du côté du virage souhaité, le palpeur ne s'affichant alors que de ce côté.

Les étapes a), b) et c) peuvent être interrompues comme indiqué précédemment, sur commande du système de gestion de vol ou du pilote, par exemple en tournant le bouton de sélection dans le sens opposé.

Le palpeur est calculé en fonction du vent. On va d'abord considérer que la distance que parcourt l'avion pour atteindre l'inclinaison du virage ( $25^\circ$  par exemple) est nulle ; on désigne aussi cette distance par distance de mise en virage.

La forme du palpeur résulte de la rotation de l'avion autour de son centre de virage composée avec une translation de ce centre par effet du vent. Lorsque la distance de mise en virage est nulle, elle est obtenue par une équation paramétrique qui s'exprime de la manière suivante dans un repère ( $O, x, y$ ) centré sur le centre de gravité de l'avion, l'axe Oy coïncidant avec l'axe de l'avion :

20

$$\left\{ \begin{array}{l} x = \pm R_{\text{air}} [1 - \cos(t * \dot{\theta})] + V_x * t \\ y = R_{\text{air}} * \sin(t * \dot{\theta}) + V_y * t \end{array} \right. \quad (1)$$

25

$R_{\text{air}}$  étant le rayon du virage qu'aurait l'avion sans vent,  $\dot{\theta}$  la vitesse angulaire (ou taux de virage) de l'avion dans l'air pendant le virage qu'aurait l'avion sans vent,  $V_x$  et  $V_y$  les composantes du vecteur vitesse du vent,  $t$  le temps avec  $t=0$  au début du virage.

Le signe devant  $R_{\text{air}}$  est le signe + lorsqu'il s'agit d'un palpeur à droite de l'avion (palpeur droit) et le signe - lorsqu'il s'agit d'un palpeur à gauche de l'avion (palpeur gauche).

La forme du palpeur dépend du vent : des exemples de forme de palpeur droit correspondant à cette équation (1) sont présentés figure 5. Ils ont été obtenus avec :

$R_{\text{air}} = 1.6 \text{ Nm}$  (miles nautiques) ;  $\dot{\theta} * R_{\text{air}} = \text{TAS} = 221 \text{ noeuds}$  (vitesse linéaire sol de l'avion) ;  $\varphi_x = \varphi_y = 0$  ;

la courbe a) correspond à un vent arrière tel que  $V_x = 0$  et  $V_y = 30$  noeuds ;

5 la courbe b) correspond à un vent Sud Est - Nord Ouest tel que  $V_x = -15$  noeuds et  $V_y = 20$  noeuds ;

la courbe c) correspond à un vent de travers tel que  $V_x = 40$  noeuds et  $V_y = 0$ .

10 La forme du palpeur et donc la capture de la trajectoire à capturer sont optimales lorsque le vent est constant et lorsque l'accélération de l'avion ne change pas entre le début et la fin du virage.

15 Comme indiqué, l'équation paramétrique (1) ne prend pas en compte la distance de mise en virage, c'est-à-dire le segment de trajectoire correspondant au temps de mise en virage aussi désigné par temps de mise en roulis et qui est lié au temps d'inertie de l'avion ; une bonne approximation consiste à considérer que ce segment est droit et dans l'axe de la trajectoire de l'avion. Cela revient à ajouter pour le calcul de y un terme  $D_v$  de distance de mise en virage. Ce terme  $D_v$  s'exprime de la façon suivante :

20 
$$D_v = \text{TAS} * |\Delta_{\text{rou}}| / T_{x_{\text{rou}}} + I_n * \text{TAS}$$

TAS étant la vitesse linéaire sol de l'avion, en noeuds,

25  $\Delta_{\text{rou}}$  la différence exprimée en degré entre l'angle de roulis à la fin du temps de mise en roulis, c'est-à-dire l'angle de roulis qu'aura l'avion au début du virage ( $25^\circ$  par exemple), et l'angle de roulis au début de la mise en roulis ( $0^\circ$  lorsque l'avion n'est pas déjà en virage),

$T_{x_{\text{rou}}}$ , le taux de roulis en degré par seconde, qui dépend de l'avion,

et  $I_n$  un facteur d'inertie en seconde, qui dépend de l'avion.

30 L'équation (1) devient :

$$\left\{ \begin{array}{l} x = \pm R_{\text{air}} [1 - \cos(t * \dot{\theta})] + V_x * t \\ y = R_{\text{air}} * \sin(t * \dot{\theta}) + V_y * t + D_v \end{array} \right. \quad (2)$$

Par ailleurs, lorsque l'avion est soumis à l'effet du vent, il subit une dérive ; il en résulte que l'axe de la trajectoire ne coïncide généralement plus avec l'axe de l'avion comme illustré figure 6. L'angle de dérive  $d$  est 5 l'angle entre ces deux axes.

Comme le palpeur est tangent au vecteur vitesse sol de l'avion, vecteur qui correspond à l'axe de la trajectoire, la forme du palpeur est finalement obtenue en appliquant à l'équation 2, une rotation de centre O et d'angle égal à l'angle de dérive.

10 La forme du palpeur est alors obtenue par l'équation suivante :

$$\left\{ \begin{array}{l} x = [\pm R_{air} [1 - \cos(t * \dot{\theta})] + V_x * t] \cos d - [R_{air} * \sin(t * \dot{\theta}) + V_y * t + D_v] \sin d \\ y = [\pm R_{air} [1 - \cos(t * \dot{\theta})] + V_x * t] \sin d + [R_{air} * \sin(t * \dot{\theta}) + V_y * t + D_v] \cos d \end{array} \right. \quad (3)$$

La forme des palpeurs droit et gauche présentés figure 6 par les courbes D) et G) a été obtenue à partir des données suivantes.

20 L'avion vole au cap  $275^\circ$  (comme représenté figure 1), coïncidant avec l'axe Oy avec une vitesse air de 228 nœuds ; son rayon de virage air est donc égal à 1.62 Nm et sa vitesse angulaire égale à  $228/1.62$  radians/heure. L'axe Ox coïncide avec l'orientation  $5^\circ$ . Les récepteurs de navigation indiquent un vent de 35 nœuds provenant du cap  $170^\circ$  (soit  $15^\circ$  25 par rapport à Ox), une route sol suivie à  $283^\circ$  et une vitesse sol de 242 nœuds. Les composantes  $V_x$  et  $V_y$  du vent sont respectivement 34 et 9 nœuds.

On obtient alors pour l'équation (1) d'un palpeur à droite :

$$\left\{ \begin{array}{l} x = 1.62 [1 - \cos(t * 228/1.62)] + 34 t \\ y = 1.62 \sin(t * 228/1.62) + 9 t \end{array} \right.$$

De même, on obtient alors pour l'équation (1) d'un palpeur à 35 gauche :

$$\begin{cases} x = -1.62 [1 - \cos(t * 228/1.62)] + 34 t \\ y = 1.62 \sin(t * 228/1.62) + 9 t \end{cases}$$

5 La distance  $D_v$  de mise en virage à l'inclinaison de  $25^\circ$  est calculée à partir des données suivantes :

$$\Delta_{rou} = +25^\circ - 0^\circ, T_{x_{rou}} = 5^\circ/\text{sec} \text{ et } ln = 2.7 \text{ sec.}$$

$$D_v = (242/3600) * (25/5) + 2.7 * (242/3600) = 0.517$$

10 Dans la mesure où l'angle de roulis d'origine est  $0^\circ$ ,  $D_v$  est la même pour les palpeurs droit ou gauche. Lorsque l'angle de roulis d'origine est supérieur à environ  $2^\circ$ , la distance de mise en virage est plus courte à droite qu'à gauche ; inversement, lorsque l'angle de roulis d'origine est inférieur à environ  $-2^\circ$ , la distance de mise en virage est plus courte à gauche  
15 qu'à droite.

En ajoutant cette distance sur l'axe  $Oy$ , on obtient alors l'équation (2) suivante pour le palpeur droit :

$$\begin{cases} x = 1.62 [1 - \cos(t * 228/1.62)] + 34 t \\ y = 1.62 \sin(t * 228/1.62) + 9t + 0.517 \end{cases}$$

20 On obtient de même l'équation (2) suivante pour le palpeur gauche :

$$\begin{cases} x = -1.62 [1 - \cos(t * 228/1.62)] + 34 t \\ y = 1.62 \sin(t * 228/1.62) + 9t + 0.517 \end{cases}$$

25 Comme la dérive subie est de  $8^\circ$  à droite ( $=283^\circ - 275^\circ$ ), il faut faire tourner le tracé correspondant à l'équation (2) de  $8^\circ$  à droite, soit  $-0.148$  radian.

La forme du palpeur droit obéit finalement à l'équation (3)  
30 suivante :

$$\begin{cases} x = [1.62[1 - \cos(t * 228/1.62)] + 34t] \cos(-0.148) - [1.62 \sin(t * 228/1.62) + 9t + 0.517] \sin(-0.148) \\ y = [1.62[1 - \cos(t * 228/1.62)] + 34t] \sin(-0.148) + [1.62 \sin(t * 228/1.62) + 9t + 0.517] \cos(-0.148) \end{cases}$$

La forme du palpeur gauche obéit finalement à l'équation (3) suivante :

$$5 \quad \begin{cases} x = [-1.62[1-\cos(t^*228/1.62)]+34t] \cos(-0.148) - [1.62\sin(t^*228/1.62)+9t+0.517] \sin(-0.148) \\ y = [-1.62[1-\cos(t^*228/1.62)]+34t] \sin(-0.148) + [1.62\sin(t^*228/1.62)+9t+0.517] \cos(-0.148) \end{cases}$$

S'il résulte de la comparaison de ce palpeur avec la trajectoire à calculer que le point tangent correspond à une variation de cap de 223°, on peut calculer l'instant de capture  $t_c$  à partir du début du virage :

10             $t_c = \text{variation de cap/vitesse angulaire}$

$$t_c = (223 * 3.14 / 180) / (228 / 1.62) = 0.02778 \text{ h} = 100 \text{ sec.}$$

Dans la mesure où  $t_c$  est calculé à partir du début du virage, il peut être utile pour le pilote d'ajouter le temps de mise en virage, c'est-à-dire le temps mis pour parcourir  $D_v$ . Dans l'exemple précédent, ce temps est de l'ordre 15 de 2s pour passer d'un angle de roulis de 0° à un angle de 25°.

On a pris comme exemple de trajectoire à capturer une trajectoire présentant une courbe ; l'invention s'applique également à des trajectoires rectilignes ou à d'autres formes de trajectoire.

20            On peut citer comme exemples de trajectoires à capturer, une trajectoire d'approche, une trajectoire d'évitement d'obstacles affichés sur l'écran de navigation (relief, masses nuageuses fournies par le radar météo, ...) ou de trafic éventuellement.

25            Le procédé décrit est mis en œuvre dans un équipement embarqué d'aide à la navigation d'un aéronef.

Un exemple de cet équipement 100 est représenté figure 7. Il comporte de manière classique un ou plusieurs microprocesseurs 101 couplés à une mémoire de programme 102 de type ROM par exemple, à une 30 mémoire de travail 103 de type RAM par exemple et à une ou plusieurs mémoires 104 de type ROM par exemple pour le stockage de la trajectoire à capturer et du palpeur, ainsi que des circuits 105 de transfert de données entre ces divers éléments. La mémoire de programme 102 contient le programme exécutoire du procédé, sous forme de code source, alors que la mémoire de travail 103 comporte des registres pouvant être mis à jour pour 35

le stockage de résultats des calculs. Cet équipement 100 comporte aussi une interface de communication 106 pour permettre l'échange de données avec des dispositifs comme par exemple avec l'interface utilisateur « MCDU », avec des capteurs, etc.

5 Ces éléments sont par exemple inclus dans le système de gestion de vol, « FMS ». Ils peuvent aussi être inclus sous forme de circuits intégrés dédiés, conçus pour mettre en œuvre le procédé.

L'interface utilisateur « MCDU » comprend au moins un écran de navigation, des moyens d'affichage sur cet écran de la trajectoire à capturer  
10 et du palpeur et éventuellement des moyens de commande du calcul du palpeur et/ou de l'affichage du palpeur et/ou de mise en virage de l'avion lorsque le palpeur tangente la trajectoire à capturer, via un clavier par exemple.

## REVENDICATIONS

1. Procédé d'aide à la navigation d'un aéronef, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes consistant à :

a) calculer en fonction du vent un palpeur, c'est-à-dire la trajectoire sol que suivrait l'aéronef s'il débutait à l'instant un virage au taux maximal applicable à la phase de vol dans laquelle l'aéronef se situe,

b) afficher sur un écran de navigation le palpeur et une trajectoire sol à capturer, en vue de déterminer une mise en virage de l'aéronef permettant de capturer au mieux la trajectoire à capturer.

2. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'il comporte en outre une étape consistant à donner l'ordre de la mise en virage lorsque le palpeur tangente la trajectoire sol à capturer.

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que chaque étape de calcul et/ou d'affichage et/ou d'ordre de mise en virage conditionnel est commandée automatiquement ou par le pilote de l'aéronef.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la forme d'un palpeur à droite est donnée par une équation paramétrique de la forme :

$$\left\{ \begin{array}{l} x = [R_{\text{air}}[1 - \cos(t * \dot{\theta})] + V_x * t] \cos d - [R_{\text{air}} * \sin(t * \dot{\theta}) + V_y * t + D_v] \sin d \\ y = [R_{\text{air}}[1 - \cos(t * \dot{\theta})] + V_x * t] \sin d + [R_{\text{air}} * \sin(t * \dot{\theta}) + V_y * t + D_v] \cos d \end{array} \right.$$

$R_{\text{air}}$  étant le rayon du virage qu'aurait l'avion sans vent,  $\dot{\theta}$  la vitesse angulaire de l'avion dans l'air pendant le virage qu'aurait l'avion sans vent,  $V_x$  et  $V_y$  les composantes du vecteur vitesse du vent,  $t$  le temps avec  $t=0$  au début du virage,  $D_v$  la distance de mise en virage et  $d$  l'angle de dérive.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la forme d'un palpeur à gauche est donnée par une équation paramétrique de la forme :

$$\left\{ \begin{array}{l} x = [-R_{\text{air}}[1 - \cos(t * \dot{\theta})] + V_x * t] \cos d - [R_{\text{air}} * \sin(t * \dot{\theta}) + V_y * t + D_v] \sin d \\ y = [-R_{\text{air}}[1 - \cos(t * \dot{\theta})] + V_x * t] \sin d + [R_{\text{air}} * \sin(t * \dot{\theta}) + V_y * t + D_v] \cos d \end{array} \right.$$

$R_{\text{air}}$  étant le rayon du virage qu'aurait l'avion sans vent,  $\dot{\theta}$  la vitesse angulaire de l'avion dans l'air pendant le virage qu'aurait l'avion sans vent,  $V_x$  et  $V_y$  les composantes du vecteur vitesse du vent,  $t$  le temps avec  $t=0$  au début du virage,  $D_v$  la distance de mise en virage et  $d$  l'angle de dérive.

6. Equipement embarqué d'aide à la navigation d'un aéronef comportant au moins une mémoire de programme et une interface utilisateur, caractérisé en ce que la mémoire de programme comporte un programme de calcul d'un palpeur c'est-à-dire de la trajectoire sol que suivrait l'aéronef s'il débutait à l'instant un virage au taux maximal applicable à la phase de vol dans laquelle l'aéronef se situe, et un programme d'affichage sur l'interface utilisateur d'une trajectoire à capturer et du palpeur.

9. Equipement selon la revendication précédente, caractérisé en ce que l'interface utilisateur comprend des moyens de commande du calcul du palpeur.

10. Equipement selon la revendication précédente, caractérisé en ce que l'interface utilisateur comprend en outre des moyens de commande de l'affichage du palpeur.

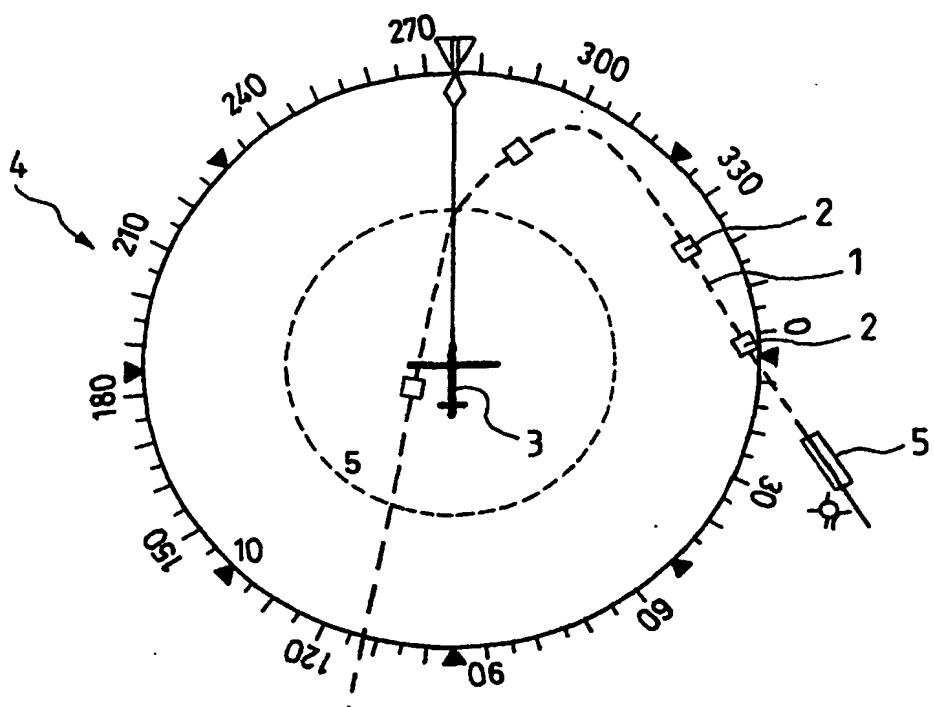


FIG. 1

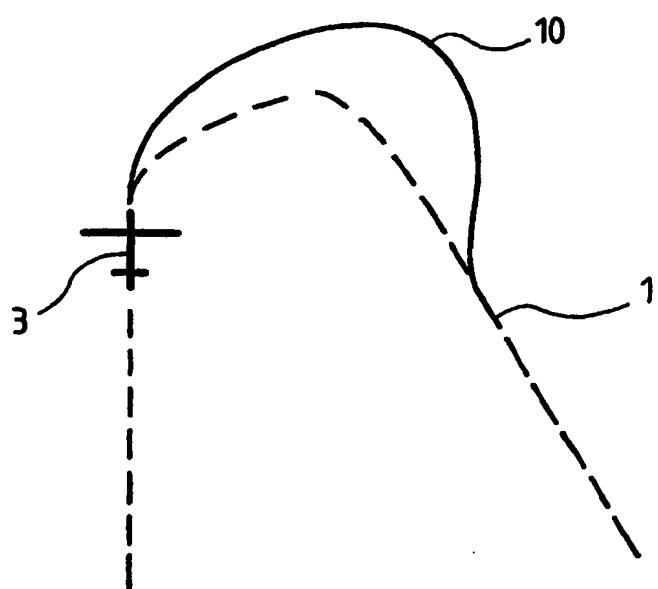


FIG. 2a

2/4

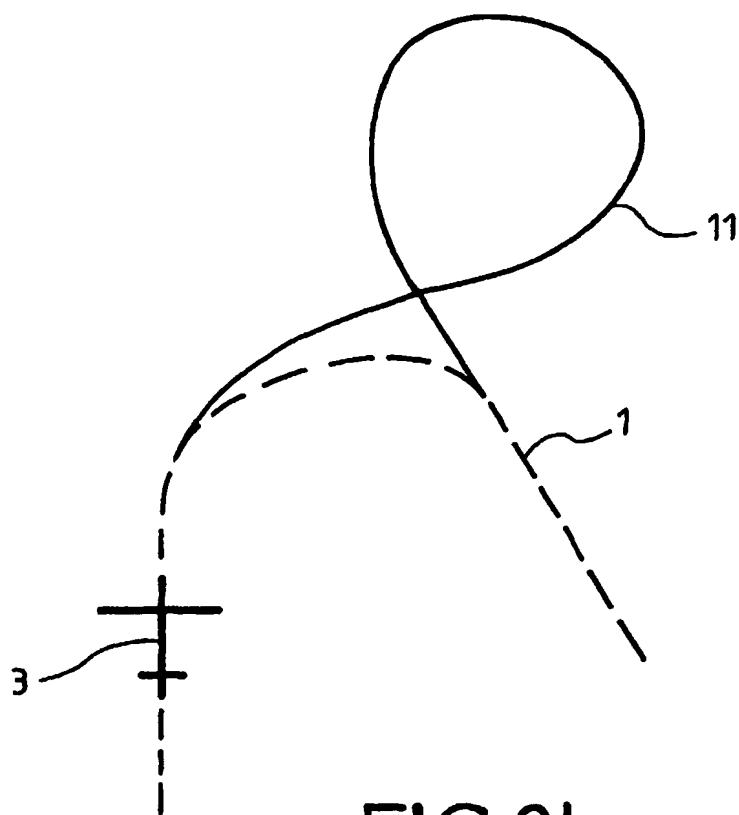


FIG.2b

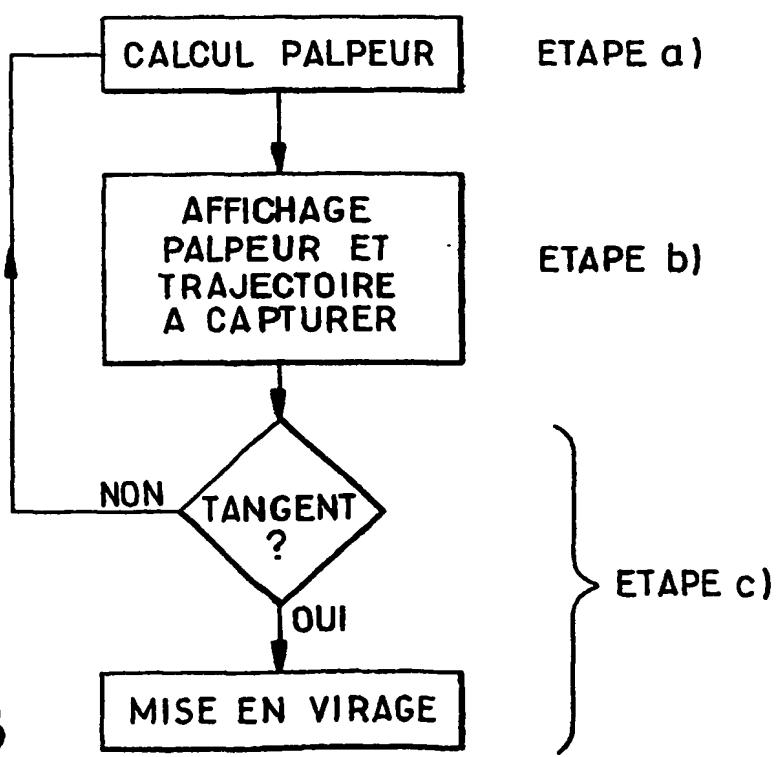


FIG.3

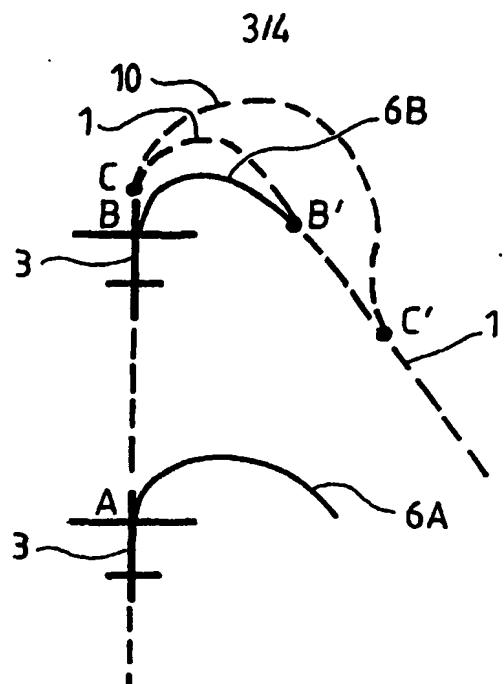


FIG.4

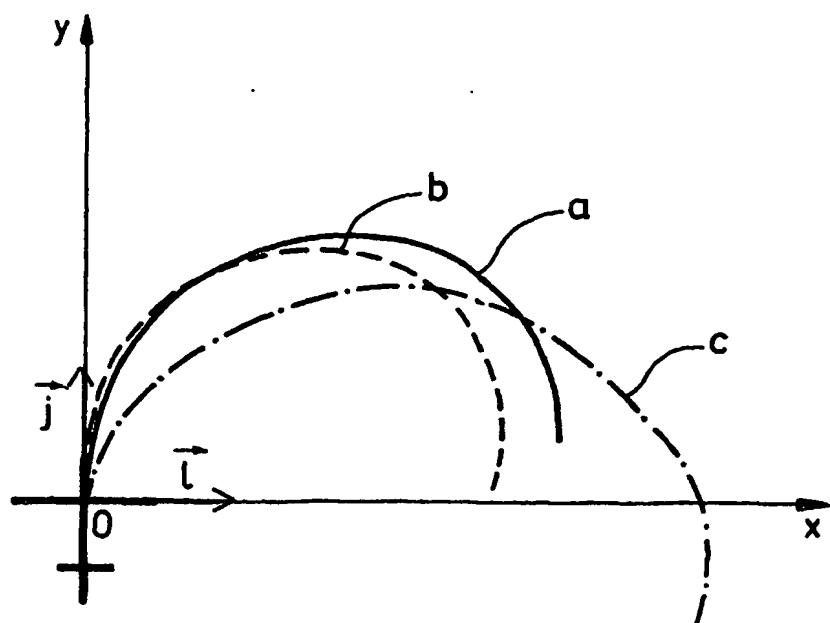


FIG.5

4/4

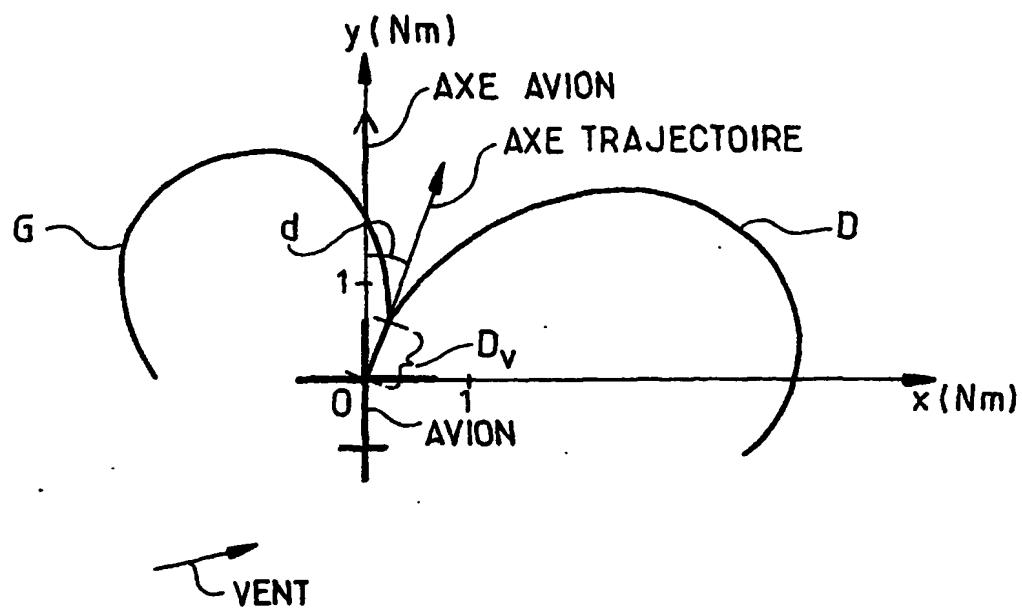


FIG. 6

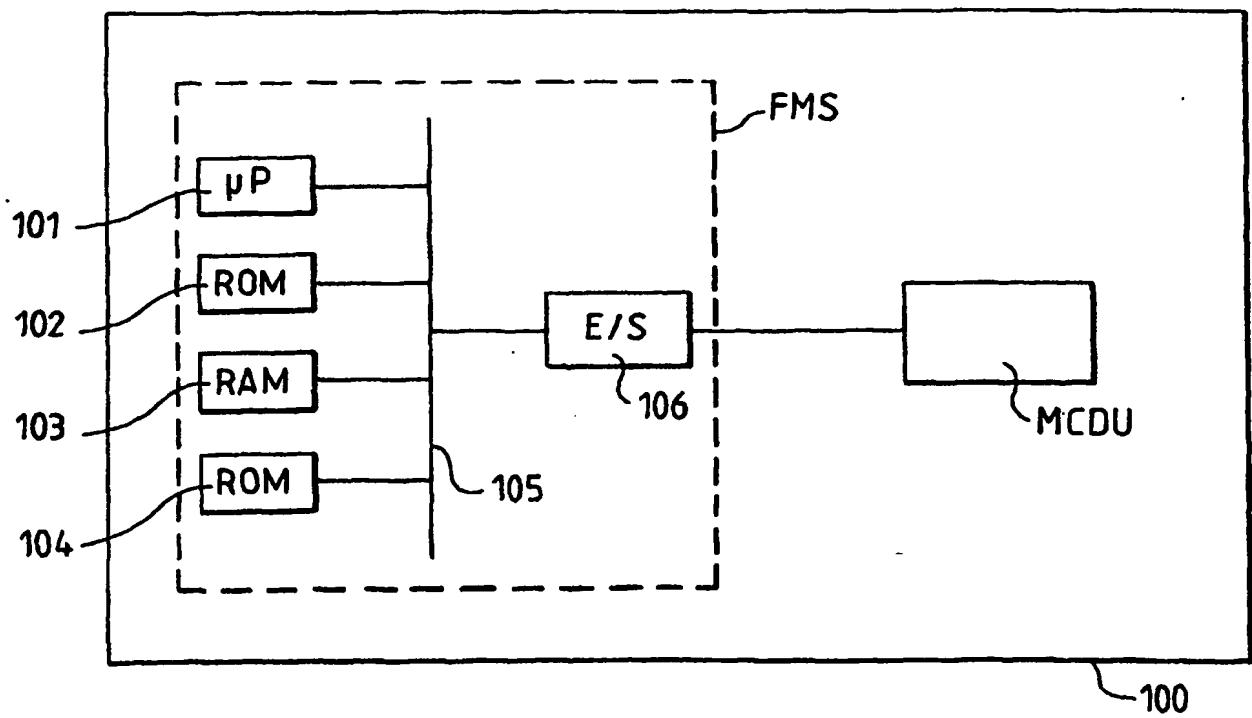


FIG. 7

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 03/02001

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
 IPC 7 G01C23/00 G05D1/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
 IPC 7 G01C G05D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

WPI Data, PAJ, EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	FR 2 803 655 A (THOMSON CSF SEXTANT) 13 July 2001 (2001-07-13) abstract -----	1,6
A	US 6 092 007 A (CORNING III SHERMAN ET AL) 18 July 2000 (2000-07-18) abstract -----	1,6

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

## ° Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the International filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the International filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the International search

3 December 2003

Date of mailing of the International search report

12/12/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Hoekstra, F

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 03/02001

Patent document cited in search report	Publication date		Patent family member(s)	Publication date
FR 2803655	A 13-07-2001	FR CA EP WO US	2803655 A1 2396537 A1 1250633 A2 0150087 A2 2003088360 A1	13-07-2001 12-07-2001 23-10-2002 12-07-2001 08-05-2003
US 6092007	A 18-07-2000	AU WO	4306999 A 9956188 A1	16-11-1999 04-11-1999

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No

PCT/FR 03/02001

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE  
CIB 7 GO1C23/00 G05D1/02

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 GO1C G05D

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

WPI Data, PAJ, EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	FR 2 803 655 A (THOMSON CSF SEXTANT) 13 juillet 2001 (2001-07-13) abrégé -----	1,6
A	US 6 092 007 A (CORNING III SHERMAN ET AL) 18 juillet 2000 (2000-07-18) abrégé -----	1,6

Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- "&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

3 décembre 2003

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

12/12/2003

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Hoekstra, F

**RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE**

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande Internationale No

PCT/FR 03/02001

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2803655	A 13-07-2001	FR 2803655 A1 CA 2396537 A1 EP 1250633 A2 WO 0150087 A2 US 2003088360 A1	13-07-2001 12-07-2001 23-10-2002 12-07-2001 08-05-2003
US 6092007	A 18-07-2000	AU 4306999 A WO 9956188 A1	16-11-1999 04-11-1999